МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE

УДК 621.311.24 10.23947/1992-5980-2017-17-1-85-91

Исследование перспективной ветроэнергетической установки с типом компоновки «ротор в раструбе»*

В. А. Костюков[1], М. Ю Медведев[2], А. М. Маевский[3], Н. К. Полуянович[4], В. В. Савченко[5]**

[1,2,3,4] Южный федеральный университет, г. Таганрог, Российская Федерация

[5]Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Study on advanced aerogenerator with "rotor-in-socket" assembly type ***

V. A. Kostyukov[1], M. Yu. Medvedev[2], A. M. Maevskiy[3], N. K. Poluyanovich[4], V. V. Savchenko[5]**

[1,2,3,4] Southern Federal University, Taganrog, Russian Federation

[5] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Существует проблема повышения эффективности существующих ветроэнергетических установок (ВЭУ). Для её решения необходимо провести исследования ВЭУ неклассических типов. Из этого ряда наиболее перспективными являются ВЭУ, которые используют специальные направляющие статические элементы для создания вихревых структур. Последнее способствует созданию повышенной аэродинамической эффективности роторов этих ВЭУ.

Материалы и методы. Для проведения аэродинамических расчетов ВЭУ были использованы программные комплексы Ansys Workbench и Ansys Fluent.

Результаты исследования. На основании анализа соответствующих публикаций обоснована перспективность исследований ВЭУ вихревого типа, в которых для увеличения их энергетической эффективности используются дополнительные статорные структуры. С помощью вычислительных методов динамики сплошных сред проведен анализ аэродинамики ВЭУ вихревого типа с компоновкой «ротор в раструбе». С помощью метода аэродинамической оптимизации получена усовершенствованная конструкция указанной ВЭУ.

Обсуждение и заключения. На основании полученных в статье результатов видно, что конструирование ВЭУ вихревого типа на основе принципа полезной интерференции статора и ротора является перспективным. В работе проведен анализ конкретной формы ВЭУ с вертикальной осью вращения, осесимметричными статором и раструбом специальных форм. Рассмотрена методика аэродинамической оптимизации конструкции ВЭУ указанного типа. На основе этой методики получены усовершенствованные форма раструба и его компоновка с ротором, которые позволили достичь среднего расчетного значения полезного аэродинамического момента, более чем в два раза превышающего соответствующее значение для первоначальной геометрии ВЭУ.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка вихревого типа, осесимметричные ротор и раструб, полезная аэродинамическая мощность, оптимизация конструкции.

Introduction. There is a performance improvement problem of the existing wind-driven power plants (WPP). It is worthwhile investigating nonclassical types of the WPP to solve it. The most promising are the WPP which use special guide static elements to create vortex structures. The latter contributes to the increased aerodynamic efficiency of the WPP.

Materials and Methods. *Ansys Workbench* and *Ansys Fluent* software packages are used to calculate the design aerodynamics of the wind turbines.

Research Results. On the analysis of the particular publications, the viability of the vortex-type WPP studies in which the additional stator structures are used to increase their energy efficiency, is proved. The aerodynamics analysis of the WPP with "rotor-in-socket" assembly type is carried out using the continuum dynamics computational methods. An advanced WPP design is obtained by the aerodynamic optimization technique.

Discussion and Conclusions. The obtained results show that the construction of the vortex-type turbine on the basis of the favourable interference concept of rotor and stator is promising. The specific form of WPP with a vertical axis of rotation, axisymmetric stator and socket of special forms is analyzed. The methods of the aerodynamic optimization of the described WPP design are considered. On the basis of this methodology, an advanced socket form and its assembly with the rotor which allows reaching an average calculated value of the favourable air moment that exceeds more than twofold the corresponding value for the initial geometry of the WPP, are obtained.

Keywords: vortex-type wind-driven power plant, axisymmetric rotor and socket, useful wind power, design optimization.

* Работа выполнена по гранту № 213.01-07-2014/01ПЧВГ.

** E-mail: wkost-einheit@yandex.ru, medvmihal@sfedu.ru, maevskiy_andrey@mail.ru, nik1-58@mail.ru

*** The research is done within the frame of Grant No. 213.01-07-2014/01PChVG.

1. Введение. В настоящее время наблюдается рост потребности многих стран в источниках питания, в достаточной степени не зависящих от централизованного подвода электроэнергии. Одним из перспективных направлений исследования в этом отношении является ветроэнергетика.

Существует проблема повышения эффективности существующих ветроэнергетических установок (ВУ), поскольку энергия ветра этими типами ВУ используется незначительно.

Данная задача не может быть решена без комплексных аэродинамических исследований, направленных на получение оптимальных по эффективности использования энергии ветра геометрических форм роторов и статоров ВУ, а в перспективе — их комплексов, исходя из заданных природных, технологических ограничений и лимита себестоимости.

Системы со свободными и ограниченными вихревыми структурами исследовались с целью определения возможности увеличения мощности ветродвигателя, установленного в ядре вихря или вблизи его. Система со свободными вихрями исследовалась Нью-Йоркским политехническим институтом и Университетом штата Виргиния. Для отклонения вихревого потока и образования вихря, в котором устанавливается ветроколесо, в ней используется крыловое устройство. По оценке, такая система может развивать мощность в 7 раз большую, чем обычное ветроколесо того же диаметра, помещенное в свободном ветровом потоке.

В ограниченной вихревой системе, разработанной фирмой Grumman Aerospace Corporation, для генерирования вихрей типа «торнадо» используется башня, устанавливаемая над осевым ветроколесом в кольце. Вихревая система обеспечивает создание разряжения над ветроколесом и увеличение скорости проходящего через него потока.

Подобные ограничения вихря могут создаваться в различных конструктивных устройствах с направлением и закручиванием потока, подобных круглой башне, установленной над ветроколесом в кольце. Для типовых систем диаметр башни может быть в 3 раза больше диаметра ветроколеса, а высота башни — в 3 раза превышать его диаметр или быть в 9 раз больше диаметра ветроколеса.

Для подобных башен скорость V_0 и давление ρ_0 потока на входе могут быть больше скорости и давления ветрового потока. Это зависит от того, насколько эффективно преобразуется поток в башне. Внутри башни давление и скорость потока, закручиваемого вблизи ее стенок, примерно такие же, как и на входе.

На основе аэродинамической теории сотрудниками фирмы Grumman Aerospace Corporation было показано, что при больших размерах вихря угловая скорость завихренного потока может достигать максимальных значений, примерно в 10 раз превышающих угловые скорости потока у стенок башни, на радиусе, составляющем 1/7 часть внутреннего радиуса башни. Они указывают, что вертикальная скорость потока внутри башни близка к нулю у ее стенки и достигает максимума в ядре якоря. Отмечается, что вертикальная скорость в ядре возрастает с увеличением его диаметра. Для систем больших размеров она может достигать значений, в 7–8 раз превышающих угловую скорость у стенки башни, которая, как это указано выше, примерно равна скорости потока на входе в башню.

Влияние размеров на увеличение вертикальной скорости видно из первоначальных опытных данных, которые, однако, должны быть подтверждены испытаниями на моделях и опытных образцах больших размеров. По оценкам, мощность, развиваемая ВЭУ использующей ветроколесо, в кольце, в сочетании с генератором вихрей, может превышать мощность электродвигателя обычного типа при том же диаметре и скорости ветра в 100–1000 раз.

Известны усовершенствованные конструкции ВУ с ротором Дарье, не уступающие ВУ с горизонтально-осевыми роторами [1,2]. Изначальная форма этого ротора представляет собой симметричную конструкцию, состоящую из двух и более аэродинамических крыльев, закреплённых на радиальных балках. На каждое из крыльев, движущихся относительно потока, действует подъемная сила, величина которой зависит от угла между векторами скоростей потока вращающегося крыла. В статье [3] предложена установка планетарного типа, работающая на основе эффекта Магнуса [4]. Идея использования последнего здесь заключается в возникновении дополнительной подъёмной силы на вращающихся вокруг своей оси цилиндрических элементах ротора — сателлитах, расположенных центрально симметрично и равномерно по периметру ротора и приводимых во вращение дополнительными электродвигателями. При этом удается при прочих равных условиях достичь полезной мощности в два-три раза превышающей соответствующую мощность классических ВУ.

Простейшей такой компоновкой, давно и широко используемой в воздухоплавании, авиации и мореходном деле, является вариант «ротора в кольце». Она значительно уменьшает потери, вызванные отрывом потока на концах лопастей [5]. Кроме того, использование вместе с кольцом еще и выходного устройства (раструба) приводит к значительному уменьшению минимальной скорости запуска ротора — до 45% от скорости ветра.

Известен патент, в котором рассматривается ВЭУ вихревого типа и вертикальной осью вращения, способная, как показали натурные испытания и результаты моделирования указанного устройства, в несколько раз снизить мощность генерации гиперзвуковых шумов, возникающих вследствие побочных вращательных моментов на ось ротора [6].

В связи с этим актуальным является решение задачи о влиянии формы и размеров раструба на роторы ветроколес с вертикальной осью вращения, когда набегающий ветровой поток примерно ортогонален этой оси.

2. Аэродинамическая модель винта. Существующие теоретические модели аэродинамики винта [7] и его интерференции с другими элементами конструкции, а также имеющиеся результаты натурных испытаний таких интерференций [7–8] не позволяют с достаточной для практики степенью точности исследовать взаимовлияния ротора, кольца и выходного устройства ВУ. Поэтому для решения указанной задачи необходимо прибегнуть к cfd-анализу (computational fluid dynamics).

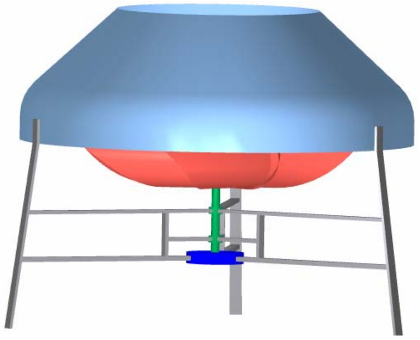
Теоретическим базисом cfd-анализа является система уравнений Навье-Стокса, описывающих динамику вязкой сжимаемой среды:

$$\begin{cases} \dfrac{dV_x}{dt} = -\left(\dfrac{1}{\rho}\right)\dfrac{\partial p}{\partial x} + \left(\dfrac{\mu}{\rho}\right)\Delta V_x + \left(\dfrac{\mu}{3\rho}\right)\dfrac{\partial}{\partial x} div\overline{V} + \\ +\left(\dfrac{1}{\rho}\right)\left[\dfrac{d\mu}{dx}\left(2\dfrac{\partial V_x}{\partial x} - \dfrac{2}{3}div\overline{V}\right) + \dfrac{d\mu}{dy}\left(\dfrac{\partial V_x}{\partial y} + \dfrac{\partial V_y}{\partial x}\right) + \dfrac{d\mu}{dz}\left(\dfrac{\partial V_x}{\partial z} + \dfrac{\partial V_z}{\partial x}\right)\right], \\ \dfrac{dV_y}{dt} = -\left(\dfrac{1}{\rho}\right)\dfrac{\partial p}{\partial y} + \left(\dfrac{\mu}{\rho}\right)\Delta V_y + \left(\dfrac{\mu}{3\rho}\right)\dfrac{\partial}{\partial y} div\overline{V} + \\ +\left(\dfrac{1}{\rho}\right)\left[\dfrac{d\mu}{dy}\left(2\dfrac{\partial V_y}{\partial y} - \dfrac{2}{3}div\overline{V}\right) + \dfrac{d\mu}{dz}\left(\dfrac{\partial V_y}{\partial z} + \dfrac{\partial V_z}{\partial y}\right) + \dfrac{d\mu}{dx}\left(\dfrac{\partial V_y}{\partial x} + \dfrac{\partial V_x}{\partial y}\right)\right], \\ \dfrac{dV_z}{dt} = -\left(\dfrac{1}{\rho}\right)\dfrac{\partial p}{\partial z} + \left(\dfrac{\mu}{\rho}\right)\Delta V_z + \left(\dfrac{\mu}{3\rho}\right)\dfrac{\partial}{\partial z} div\overline{V} + \\ +\left(\dfrac{1}{\rho}\right)\left[\dfrac{d\mu}{dz}\left(2\dfrac{\partial V_z}{\partial z} - \dfrac{2}{3}div\overline{V}\right) + \dfrac{d\mu}{dx}\left(\dfrac{\partial V_z}{\partial x} + \dfrac{\partial V_x}{\partial z}\right) + \dfrac{d\mu}{dy}\left(\dfrac{\partial V_z}{\partial y} + \dfrac{\partial V_y}{\partial z}\right)\right], \end{cases} \quad (1)$$

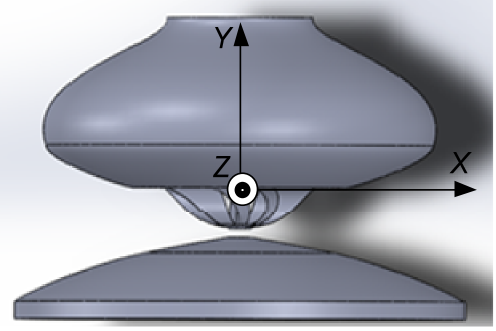
где $\rho = \rho(x, y, z)$, $p = p(x, y, z)$ — поля плотности и давления, $\overline{V}(x, y, z) = (V_x, V_y, V_z)^T$ — векторное поле скоростей, μ — динамический коэффициент вязкости, учитывающий трение между соседними слоями сплошной среды.

3. Моделирование аэродинамики раструба ВЭУ. Моделирование аэродинамики ВЭУ на основании (1) и соответствующих граничных условий было произведено в программных комплексах Ansys Workbench и Ansys Fluent. Программный пакет Ansys — универсальный конечно-элементный программный комплекс, предназначенный для решения задач в различных областях инженерной деятельности. Заметим, что первичный качественный аэродинамический анализ может быть выполнен в современных системах автоматизированного проектирования, таких как SolidWorks, Catia, в которых и строилась 3d-модель объекта.

3.1. Постановка задачи. Задана геометрия ротора ВУ, начальный вариант геометрии раструба и его компоновки с ротором (рис.1а).



a)



b)

Рис.1. Трехмерная модель исходной (*a*) и оптимизированной (*b*) компоновок ротора с раструбом

Fig.1. Three-dimensional model of the original (*a*) and optimized (*b*) rotor with socket assembly

Размеры ротора: максимальный диаметр Dmax=1,25м; высота H=0,32м. Размеры раструба: минимальный (верхний) диаметр Drastrmin=1,16м; максимальный (нижний) диаметр Drastrmax=2,23м; высота H=0,428м.

Диапазон ветровых нагрузок: V_w=3… 10 м/с, первоначальный диапазон угловых скоростей вращения ротора (в общем случае зависит от нагрузки и аэродинамического качества ветроустановки) ω =0,5… 14 рад/с.

Полезная аэродинамическая мощность P воздействия ветрового потока на ротор есть произведение вращающего осевого аэродинамического момента ротора на угловую скорость его вращения $P_A = M_A\omega$.

Необходимо получить оптимальные форму раструба при заданном роторе и соответствующую компоновку полученного раструба с ротором, обеспечивающие максимальное среднее значение полезной аэродинамической мощности (P) ветрового потока ротора на заданном диапазоне ветровых нагрузок.

Пусть $U_{geo} \in \mathcal{B}$ — произвольные форма раструба и компоновка его с ротором, входящие в рассматриваемое множество $\mathcal{B}$ таких форм и компоновок.

В качестве критерия оптимизации целесообразно выбрать максимум среднего $\langle P\rangle$ на множестве Q всех допустимых наборов $\{V_w, \omega\} \in Q$ значения полезной мощности на роторе:

$$\langle P\rangle_Q\big|_{U_{geo,opt}} = \max_{\{U_{geo}\}}\left[\langle P\rangle_Q\big|_{U_{geo}}\right], U_{geo} \to U_{geo,opt}, \quad (2)$$

где поиск максимума производится на множестве $\mathcal{B}$, $U_{geo,opt}$ — оптимальная в указанном смысле геометрия ВУ.

3. Основные этапы исследования.

Функциональная схема полного процесса исследования геометрии раструба и компоновки его с ротором, представлена на рис. 2.

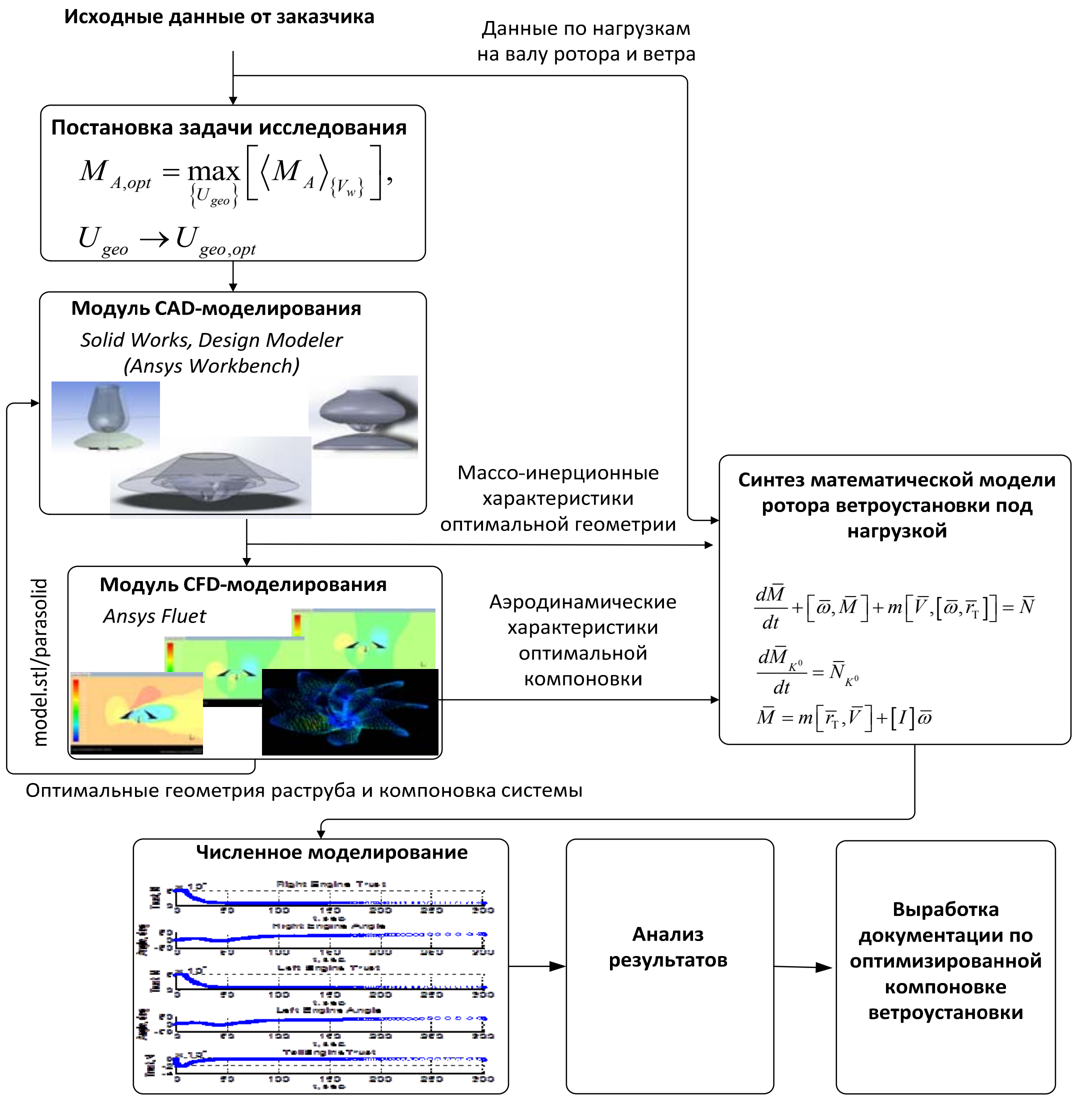


Рис. 2. Функциональная схема процесса исследования аэродинамики и математической модели ВЭУ

Fig.2. Function chart of WPP aerodynamics and mathematical model research process

Алгоритм исследования включает в себя следующие основные этапы:

- Выбор базовых геометрических форм (БФ) раструба и типы его компоновки с ротором исходя из физических соображений.
- Ввод необходимого набора входных параметров, характеризующих геометрию каждой из БФ, а также набора выходных параметров — целей расчета в результате cfd-моделирования (рис. 3).

	A	B	C	D	E	F	G
1	Name	P6 - V20	P7 - R43	P8 - TranslateRotorY	P9 - mx	P10 - my	P11 - mz
2	Units	m	m	m	J	J	J
3	DP 0 (Current)	0,022835	0,043045	0,0075	0,072869	0,026176	2,705
4	DP 1	0,022835	0,046045	0,0075	0,089148	0,024729	2,9019
5	DP 2	0,022835	0,049045	0,0075	0,036035	0,027768	2,9065
6	DP 3	0,022835	0,052045	0,0075	0,037056	0,026335	3,0078
7	DP 4	0,022835	0,055045	0,0075	0,065683	0,025271	2,9479
8	DP 5	0,022835	0,043045	0,005			
9	DP 6	0,022835	0,043045	0	0,039111	0,025451	2,8118
10	DP 7	0,022835	0,043045	-0,005			
11	DP 8	0,022835	0,043045	-0,0075	0,01207	0,029844	2,6983
12	DP 9	0,022835	0,043045	0,0075	0,072869	0,026176	2,705
13	DP 10	0,0128	0,043045	0,0075	0,011015	0,027832	2,7628
14	DP 11	0,0328	0,043045	0,0075	0,074733	0,025942	2,727
15	DP 12	0,0388	0,043045	0,0075	0,097481	0,026508	2,6776
16	DP 13	0,0428	0,043045	0,0075	0,0808	0,024935	2,6127
*							

Рис. 3. Параметризация расчета для первого шага оптимизационной процедуры в программном комплексе ANSYS Workbench

Fig.3. Calculation parameterization for the first step of optimization procedure in ANSYS Workbench software package

В ходе параметризации расчетов используются Design Point (DP) — ключевые точки расчетов, которые содержат определенное количество входных и выходных параметров. На рисунке в качестве примера показан расчет 14 DP для случая раструба первоначальной формы (рис.1а). Входными параметрами здесь являются: V20 — высота раструба, R43 — радиус внутренней части и translaterotor — величина погружения ротора в конструкцию раструба; выходные параметры есть проекции аэродинамического момента, воздействующего на ротор.

- Сравнение полученных результатов для всех БФ. Выбор наилучшей БФ (НБФ) по значению критерия оптимизации. Процесс computational fluid dynamic (CFD) — оптимизации представлен на рис. 4.

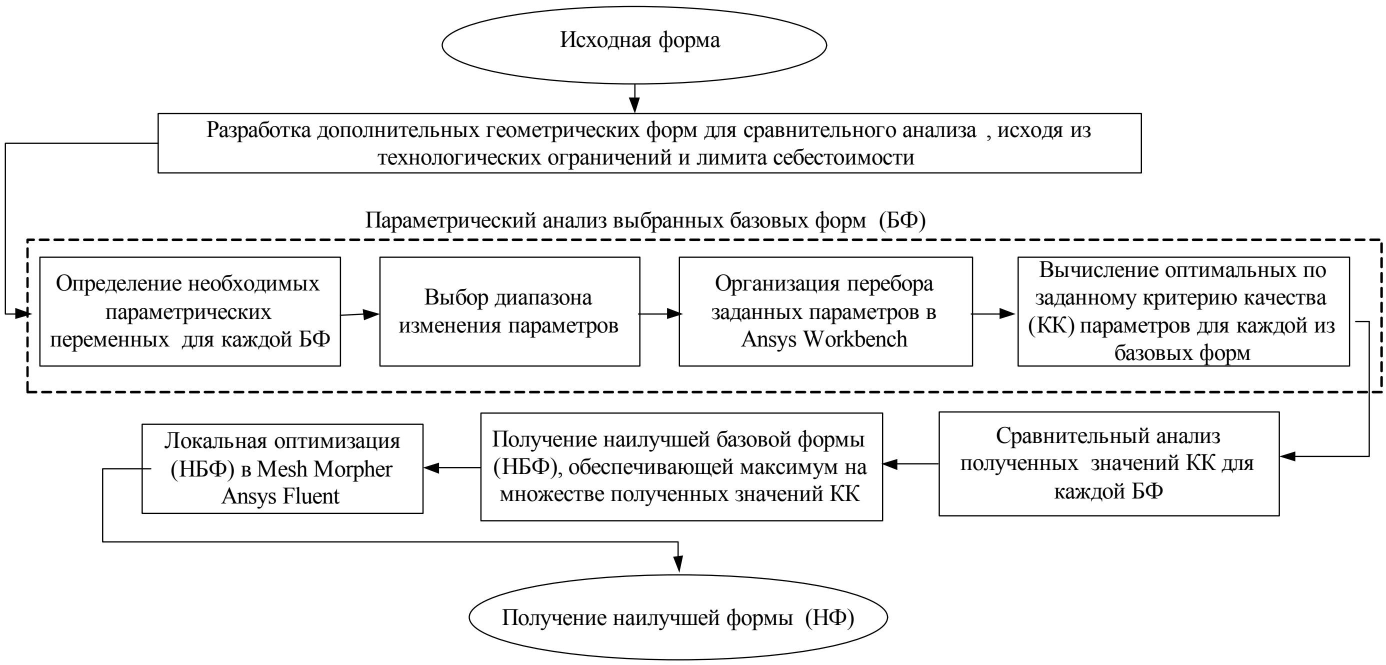


Рис. 4. Методика CFD-оптимизации в программном комплексе Ansys Fluent

Fig.4. CFD-optimization techniques in Ansys Fluent software package

- Проведение локальной оптимизации НБФ после получения результатов сравнительного анализа БФ.

Эта стадия подразумевает более гибкое варьирование геометрии НБФ с тем, чтобы, с одной стороны, уменьшить негативное влияние недостаточной степени дискретизации выбранных областей в пространстве параметров, и, с другой стороны, использовать ряд дополнительных линейных или градиентных методов оптимизации в используемом программном модуле Ansys *Mesh Morpher*, значительно ускоряющих в целом процесс оптимизации. На выходе получается наилучшая форма (НФ).

- Расчет массо-инерционных параметров для НФ.
- Разработка математической модели ВЭУ с учетом рассчитанных массо-инерционных параметров и аэродинамических характеристик НФ.
- Численное моделирование работы ВЭУ для различных параметров ветра и механических нагрузок на валу двигателя.
- Анализ результатов, формирование выходной документации и рекомендаций по режиму работы ВЭУ.

В табл. 1 приведены значения полученных аэродинамических моментов для двух типов рассмотренных конструкций при угловой скорости вращения ротора $\omega = 6{,}28$ рад/с и скорости набегающего потока V=12 м/с.

Таблица 1

Table 1

Сравнительные результаты трех моделирований

Comparative results of three simulations

Расчетная величина	С первоначальным раструбом	С оптимизированным раструбом
Mx, Н*м	5,832	32,00
Mz, Н*м	6,561	22,37
My, Н*м	15,853	36,59

Из табл. 1 видно, что благодаря использованию оптимизированной геометрии (рис. 1б) при номинальной скорости 12 м/с полезная аэродинамическая мощность на роторе ВЭУ увеличивается более чем в 2 раза, по сравнению с первоначальной геометрией ВЭУ (рис.1а).

Вместе с этим возрастают побочные аэродинамические моменты, поскольку выбранный критерий оптимизации (2) не подразумевает их уменьшение. Однако рост этих моментов может быть нивелирован соответствующим конструкционным закреплением установки с оптимальной геометрией либо в процессе дальнейшего совершенствования её геометрии и/или выборе других компромиссных критериев оптимизации, либо частичным превращением побочной мощности в полезную.

Заключение. На основании вышеизложенного видно, что конструирование ВЭУ вихревого типа на основе принципа полезной интерференции статора и ротора является перспективным.

В работе проведен анализ конкретной формы ВЭУ с вертикальной осью вращения, осесимметричными ротором и раструбом специальных форм.

Рассмотрена методика аэродинамической оптимизации конструкции ВЭУ указанного типа. На основе этой методики получены усовершенствованные форма раструба и его компоновка с ротором, которые позволили достичь среднего расчетного значения полезного аэродинамического момента, более чем в два раза превышающего соответствующее значение для первоначальной геометрии ВЭУ.

Библиографический список

1. Твайделл, Дж. Ветроэнергетика. Возобновляемые источники энергии. Пер. с англ / Дж. Твайделл, Т. Уэйр. — Москва : Энергоатомиздат, 1990. — 392 с.

2. Энергетические характеристики ротора Дарье (обзор) (рус.) — Омск : Издательство Сибирского отделения РАН, 2010 г. — С. 325–333.

3. Михненков, Л. В. Ветроэнергетическая станция планетарного типа / Л. В. Михненков // Научный Вестник МГТУ ГА. — 2008. — №125. — С. 105–109.

4. Михненков, Л. В. Ветроэнергетическая установка планетарного типа / Л. В. Михненков // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов. — 2002. — №49. — С. 110–113.

5. Хаскин, Л. Я. Аэродинамика ветроколеса с обтекателем и выходным устройством/ Л. Я. Хаскин // Ученые записки ЦАГИ. — 1993. — Т. 24, №4. — С. 82–95.

6. Устройство для преобразования кинетической энергии ветра в механическую энергию: патент 2552635 Российская Федерация : В. В. Савченко, В. С. Степанов, F03D3/04 : заявл. 08.05.15 ; опубл. 10.06.15, Бюл. № 16. — 4 с.

7. Краснов, Н. Ф. Аэродинамика в 2-х ч/ Н. Ф. Краснов // — ч.1. Москва : Высшая школа, 1976. — С. 105–125.

8. Петров, К. П. Аэродинамика тел простейших форм/ К. П. Петров // — Москва : Факториал, 1998. — С. 98–104.

References

1. Twidell, J., Weir, T. Vetroenergetika. Vozobnovlyaemye istochniki energii. [Windpower Engineering. Renewable Energy Resources.] Trans. from English. Moscow: Energoatomizdat, 1990, 392 p. (in Russian).

2. Energeticheskie kharakteristiki rotora Dar'ye (obzor). [Energy characteristics of Darreus rotor (survey)] Omsk: RAS Siberian Branch Publ. House, 2010, pp. 325–333 (in Russian).

3. Mikhnenkov, L.V. Vetroenergeticheskaya stancija planetarnogo tipa. [Planetary wind station.] The Scientific Bulletin of MSTU, 2008, no. 125, pp. 105–109 (in Russian).

4. Mikhnenkov, L.V. Vetroenergeticheskaya ustanovka planetarnogo tipa. [Planetary-type aerogenerator.] The Scientific Bulletin of MSTU CA, Series: Air Transport Operation and Aviation Equipment Material Maintenance. Flight Safety. 2002, no. 49, pp. 110–113 (in Russian).

5. Khaskin, L.Y. Aerodinamika vetrokolesa s obtekatelem i vykhodnym ustroystvom. [Aerodynamics of radome windwheel with output unit.] TsAGI Science Journal, 1993, vol. 24, no. 4, pp. 82–95 (in Russian).

6. Savchenko, V.V., Stepanov, V.S. Ustroystvo dlya preobrazovaniya kineticheskoy energii vetra v mekhanicheskuyu energiyu: patent 2552635 Rossiyskaya Federatsiya. [Device for conversion of kinetic wind power into mechanical energy.] Patent RF, no. 2552635, 2015 (in Russian).

7. Krasnov, N.F. Aerodinamika v 2-kh ch. [Aerodynamics in 2 parts. Part 1.] Moscow: Vysshaya shkola, 1976, pp. 105–125 (in Russian).

8. Petrov, K.P. Aerodinamika tel prosteyshikh form. [Aerodynamics of simple bodies.] Moscow: Faktorial, 1998, pp. 98–104 (in Russian).

Поступила в редакцию 04.08.2016
Сдана в редакцию 04.08.2016
Запланирована в номер 11.01.2017

Received 04.08.2016
Submitted 04.08.2016
Scheduled in the issue 11.01.2017

Об авторах:

Костюков Владимир Александрович, доцент кафедры «Электротехника и мехатроника» Южного федерального университета, (РФ, г. Таганрог, ул. Чехова, 2),кандидат технических наук, доцент, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6116-9999, wkost-einheit@yandex.ru

Медведев Михаил Юрьевич, заведующий кафедрой «Электротехника и мехатроника» Южного федерального университета, (РФ, г. Таганрог, ул. Чехова, 2), доктор физико-математических наук, профессор, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5205-3572, medvmihal@sfedu.ru

Маевский Андрей Николаевич, техник научно исследовательского института робототехники и процессов управления Южного федерального университета, (РФ, г. Таганрог, ул. Чехова, 2), ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0985-1851, maevskiy_andrey@mail.ru

Полуянович Николай Константинович, доцент кафедры «Электротехника и мехатроника» Южного федерального университета, (РФ, г. Таганрог, ул. Чехова, 2), кандидат технических наук, доцент, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5941-1355, nik1-58@mail.ru

Савченко Василий Владимирович, ведущий инженер управления научных исследований Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1)

Authors:

Kostyukov, Vladimir A., associate professor of the Electrical Engineering and Mechatronics Department, Southern Federal University (RF, Taganrog, Chekhov sq., 2), Cand. Sci. (Eng.), associate professor, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6116-9999, wkost-einheit@yandex.ru

Medvedev, Mikhail Yu., head of the Department of the Electrical Engineering and Mechatronics Department, Southern Federal University (RF, Taganrog, Chekhov sq., 2), Dr. Sci. (Phys.-Math.),professor, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5205-3572, medvmihal@sfedu.ru

Maevskiy, Andrey M., technician, Research and Development Institute of Robotics and Control Systems, Southern Federal University (RF, Taganrog, Chekhov sq., 2), ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0985-1851, maevskiy_andrey@mail.ru

Poluyanovich, Nikolay K., associate professor of the Electrical Engineering and Mechatronics Department, Southern Federal University (RF, Taganrog, Chekhov sq., 2), Cand. Sci. (Eng.), associate professor, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5941-1355, nik1-58@mail.ru

Savchenko,Vasily V., senior engineer of the Scientific Research Department, Don State Technical University (DSTU) (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, RF)